

2. Russian Federation. ON9-964-69. Raschjot i konstruirovanie dokovogo opornogo ustrojstva. Raschjot reakcij opornogo ustrojstva pri postanovke sudov v suhoj i plavuchij doki. M., 1969.
3. Kozljakov, V. V., G. N. Finkel, and I. Ja. Harhurim. *Proektirovanie dokovyh opornyh ustrojstv*. L.: Sudostroenie, 1973.
4. Nisenbaum, S. L. "Vlijanie reakcij kilblokov na ustojchivost sudna pri postanovke v dok." *Tehnologija sudostroenija* 6 (1967).
5. Harren, P. A., ed. *Safe Operation and Maintenance of Dry Dock Facilities*. Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers, 2010.
6. *Dockmaster training manual*. USA: Heger Dry Dock, Inc., 2005.
7. Cheng, Y. S., F. T. K. Au, L. G. Tham, and G. W. Zeng. "Optimal and robust design of docking blocks with uncertainty." *Engineering structures* 26.4 (2004): 499–510. DOI:10.1016/j.engstruct.2003.11.007.
8. Luchs, J. K. Earthquake resistant submarine drydock block system design. Diss. Cambridge, Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 1988.
9. Hepburn, R. D., J. K. Luchs, and D. G. Karr. "Potential Failure of Surface Ship and Submarine Drydock Blocking systems Due to Seismic Loadings and Recommended Design Improvements." *Society of Naval Architects and Marine Engineers-Transactions* 96 (1988): 28.
10. Chen, C., and C. K. Huat. "Optimal dock block arrangement considering subsequent ships solved by genetic algorithm." *Proceedings of the 4th International Conference on Engineering, Project, and Production Management (EPPM 2013). October 23-25, 2013*. Bangkok, Thailand, 2013: 770–783.
11. Aguirrezabala, G. "Multiple vessel dry-docking and other issues related with the operation of a floating dock." *International Conference on Drydocks*. London: Launching & Shiplift, 2003.
12. *Pravila klassifikacii i postrojki morskikh sudov*. Vol. 1. SPb.: Rossijskij morskoy registr sudohodstva, 2015.
13. Antonenko, S. V. "Sovershenstvovanie raschjota bokovyh kletok doka." *Sudostroenie* 1 (1992): 33–35.
14. Antonenko, S. V., and A. E. Baskakova. "Calculation of responses of dock cribbings." *Marine intellectual technologies* 3-1 (2011): 22–25.
15. Antonenko, S. V. *Dokovanie sudov. Teorija i praktika*. Saarbrücken, Deutschland: Lambert Academic Publishing (LAP), 2012.
16. Antonenko, S. V. "Rezultaty issledovanij prochnosti, zhjostkosti i polzuchesti derevjannyh podushek kilblokov." *Sudostroenie* 1 (1991): 43–46.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Антоненко Сергей Владимирович —
доктор технических наук, профессор.
ФГАОУ ВПО «Дальневосточный федеральный
университет (ДВФУ)»
antonenko48@rambler.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Antonenko Sergej Vladimirovich —
Dr. of Technical Sciences, professor.
Far Eastern Federal University (FEFU)
antonenko48@rambler.ru

Статья поступила в редакцию 25 апреля 2016 г.

УДК 629.565.2

**В. А. Кулеш,
Д. В. Немкин**

РАЗРАБОТКА НОРМ ИЗНОСА ДЛЯ ПЛАВУЧЕГО ДОКА С УЧЕТОМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ

В работе представлен вариант решения проблемы уменьшения затрат на обеспечение эксплуатационной надежности плавучего дока проекта 985. Решение поставленной задачи достигается за счет введения для плавдока эксплуатационных ограничений, таких как максимальная грузоподъемность, длина докуемого судна и глубина погружения. Анализ данных об эксплуатации плавдока за последние три года выявил, что вес судов, подвергаемых докованию, в основном не выходил за рамки введенного ограничения (только четыре судна из двадцати одного имели водоизмещение более 1000 т). Таким образом, предло-

женное решение не требует существенного изменения производственной программы судоремонтного завода. Для плавдока проекта 985 были выявлены характерные повреждения и особенности конструкции. Представлены преимущества разработанных специальных норм с учетом опыта эксплуатации плавдока и даны рекомендации, касающиеся его дальнейшей эксплуатации. Показаны недостатки и опасность норм, разработанных без оценки допустимых деформаций и прямых расчётов прочности, учитывающих особенности конструкции плавучего дока.

Ключевые слова: плавучий док, эксплуатационные ограничения, техническая диагностика, нормы износа, ремонт, повреждение конструкций, метод конечных элементов.

Введение

Судоподъёмные сооружения, сухие и плавучие, в Дальневосточном регионе неуклонно устаревают, при этом продолжают сокращаться судоремонтные мощности, что создаёт проблему реализации «Морской доктрины Российской Федерации до 2020 г.». В таких условиях на первый план выходит продление сроков эксплуатации существующих доков. Опыт показывает, что сохранение проектных характеристик старых плавучих доков, в том числе грузоподъёмности, требует огромных капитальных вложений. В то же время снижение проектной грузоподъёмности и другие эксплуатационные ограничения позволяют уменьшить затраты в ряде случаев в несколько раз, не нанося ущерб производственной программе.

Описание плавдока. Плавучие доки проекта 985 (разработчик — Клайпедское отделение «Гипрорыбфлота») строились в 80-е гг. XX в. в г. Херсоне под наблюдением Российского морского регистра судоходства (далее — РМРС). На рис. 1 приведен общий вид плавучего дока. Стальной, несамходный, неавтономный, понтонный (шестипонтонный), самодокующийся двухбашенный плавучий док по проекту предназначен для докования и ремонта судов с максимальным доковым весом до 1500 т. Башни плавучего дока непрерывны по всей длине и соединены с понтонами болтами.

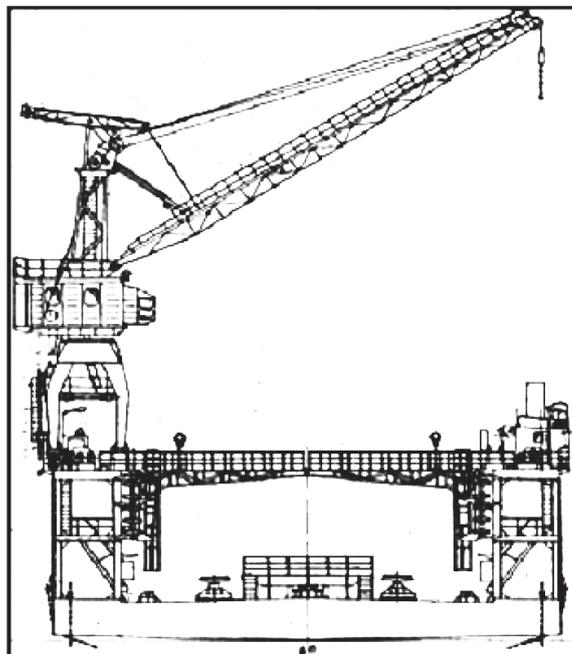


Рис. 1. Общий вид плавучего дока

Все понтоны имеют одинаковые размеры и конструкцию за исключением расположения сухих отсеков. Понтоны отстоят друг от друга на 0,7 м и имеют килеватость днища 0,3 м, а также плоскую погиль стапель-палубы, составляющую у внутреннего борта 0,2 м.

Конструкции дока выполнены по поперечной системе. В понтонах установлены ферменные конструкции на каждой шпации. В башнях также применены ферменные конструкции, установленные через три шпации. Шпация основного набора составляет 0,7 м.

Опыт эксплуатации. Выписки из бортового журнала плавдока данной серии ПД-01 (Ливадийский судоремонтный завод) позволили получить и проанализировать данные о докованиях судов за последние три года. Только четыре судна из 21 имели доковый вес более 1000 т, из них лишь одно судно — более 1200 т (рис. 2, а). Сравнительно часто док погружался на глубину 4,6 м от уровня килевой дорожки (глубина погружения 8,6 м), при этом докмейстерский запас в 19 случаях из 21 превышал номинальный докмейстерский запас в 0,5 м (рис. 2, б).

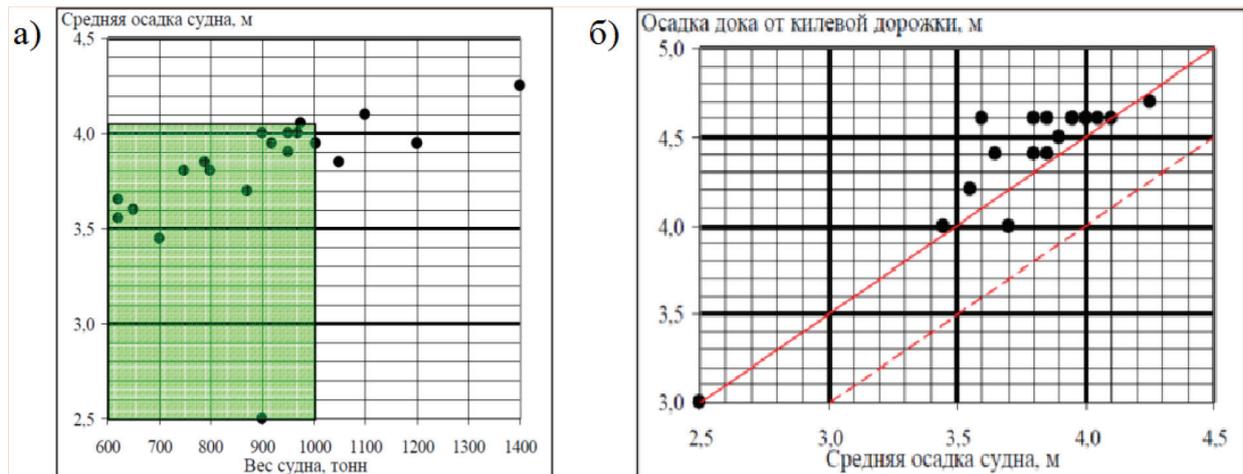


Рис. 2. Данные по докованиям судов:

а — доковый вес поднимаемого судна; б — средняя осадка поднимаемого судна

На рис. 2, а выделена область эксплуатационных ограничений, которые предварительно согласованы с владельцем дока с учётом производственной программы. Ограничения позволяют повысить безопасность работы дока при снижении ремонтных затрат без существенного понижения эффективности.

Характерные повреждения установлены по результатам дефектации и замеров остаточных толщин корпусных конструкций плавдока ПД-01 после 35 лет эксплуатации [1]. Предварительно были выявлены конструкции, требующие безусловного ремонта ввиду сквозной коррозии и потери устойчивости (рис. 3). На рисунке дана схема характерных и наиболее опасных для дока повреждений в виде потери устойчивости элементов ферменных конструкций понтонов. Прежде всего, к ним следует отнести потерю устойчивости стоек диаметральной переборки под килевой дорожкой, а также пиллерсов (показаны слева на рис. 3) и расколов (показаны справа на рис. 3) ферм. Кроме того, к характерным для многих стальных плавучих доков повреждениям можно также отнести чрезмерную коррозию, вплоть до сквозной, конструктивных элементов в верхней части понтонов (например, плавдок ПД-83, [2]), которая по условиям эксплуатации в течение длительного периода времени находится выше уровня балласта (коррозия в парах морской воды). Коррозия элементов, расположенных ниже уровня балласта и контактирующих с ним, протекает значительно медленнее.

Согласно имеющимся значениям износов, разработанных «Консультант-ДВ» [3], [4] для плавдока этой же серии (ПД-04, пос. Преображение) предварительно были определены участки обшивки плавдока ПД-01, требующие замены. На рис. 4 эти участки выделены зеленым и красным цветом (на примере стапель-палубы).

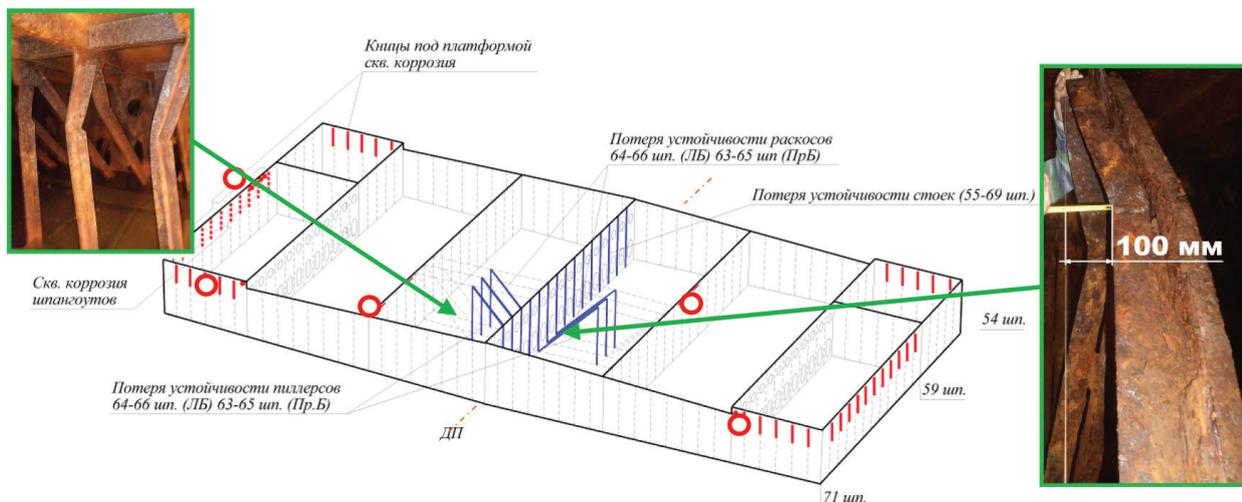


Рис. 3. Схема и фотографии характерных повреждений конструкций четвертого понтона:

- — сквозная коррозия в листах; - - - — сквозная коррозия набора;
- — сквозная коррозия в кницях; — — — — потеря устойчивости набора

Согласно нормативам, разработанным авторами документа [5], удалось снизить необходимый объем ремонта стапель-палубы практически в два раза (47 %). На рис. 4 зеленым цветом отмечены участки настила, не требующие обязательной замены, в отличие от нормативов, установленных «Консультант-ДВ».

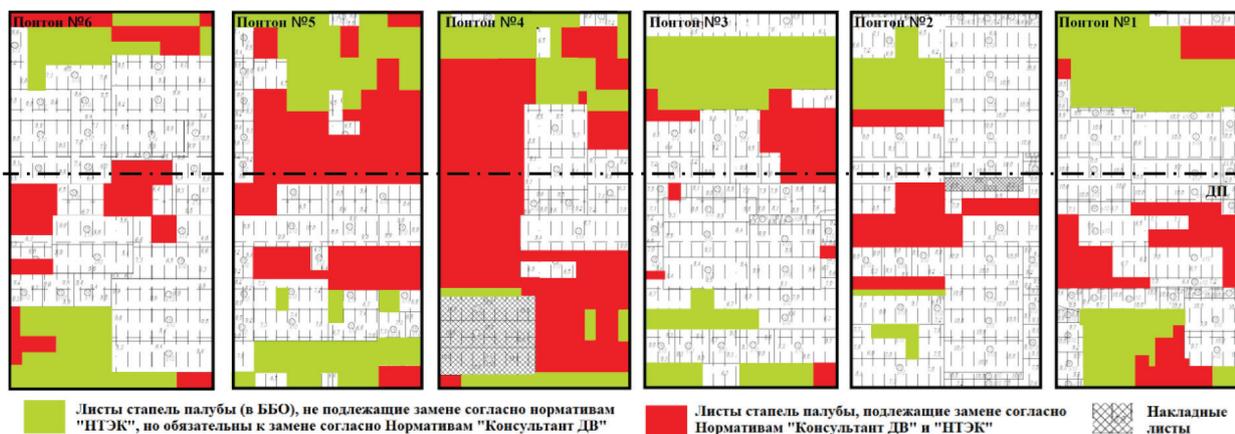


Рис. 4. Схема мест замены настила стапель-палубы дока по различным нормам износа (выделены цветом)

Относительно балок нормативы «Консультант-ДВ» не учитывают 50 %-е ограничение «снизу», регламентируемое РМРС в изданиях [6], [7], поэтому некоторые элементы могут быть изношены практически полностью. Так, износ горизонтальных распорок, которые играют важную роль в обеспечении местной прочности бортового перекрытия башен, у К-ДВ составляет 90 %. Значения, полученные авторами статьи в процессе разработки норм износа для плавдока с учетом эксплуатационных ограничений, составляют 29 %.

Допустимый износ пиллерсов и раскосов понтонов у К-ДВ составляет 73 % и 69 % соответственно, что также недопустимо, принимая во внимание ограничение «снизу» и особенность конструкции понтонов (отсутствие поперечных связей — флоров).

Местная прочность. Расчеты конструкций дока в основе используют нагрузки (напы), определяемые по диаграмме погружения-всплытия дока (рис. 5). В действующих Правилах РМРС нет прямого указания на использование такой диаграммы. Это в значительной мере затрудняет получение инженерных решений с учетом возможностей эксплуатационных ограничений для доков.

Анализ показал, что принятые проектантом конструктивные решения в целом соответствуют требованиям действующих Правил РМРС. Однако отступления имеются в отношении расстояний между главными поперечными связями понтонов — сплошными флорами (их нет), на что акцентировано особое внимание для разработки требований к техническому состоянию и последующей эксплуатации дока.

Построечные толщины листовых элементов в основном удовлетворяют требованиям Правил РМРС. Отступления более 10 % имеют:

- днище, борта, стапель-палуба — до 17 %;
- стенки балластных отсеков ниже стрингера — до 12 %;
- стенки и переборки сухих отсеков ниже стрингера — до 21 %;
- стенки цистерн ниже стрингера — до 22 %.

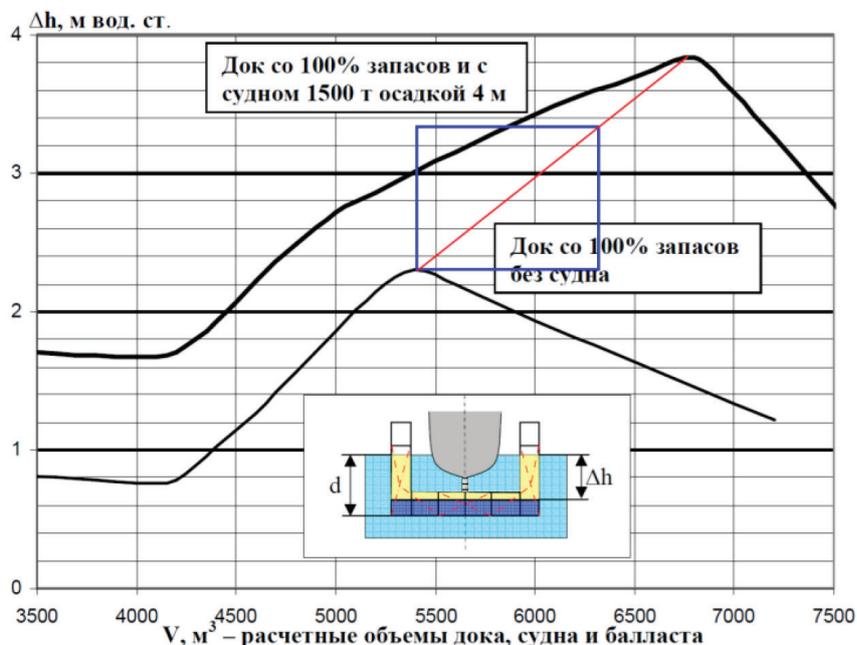


Рис. 5. Зависимости расчетных напоров по диаграмме погружения-всплытия дока

Выявленные отступления учитывались в расчетах прочности, а также при определении допустимых остаточных размеров связей. Расчеты прочности для простых балок набора выполнены по Правилам РМРС, а прямые расчеты прочности ферменных конструкций и перекрытий — методом конечных элементов, без запасов на износ.

В первую очередь, расчеты позволили определить требования к прочностным размерам балок к концу срока эксплуатации. При использовании метода конечных элементов в виде программного комплекса FESTA, рассмотренного в работе [8], конструкции моделировались стержневыми конечными элементами. Напряженно-деформированное состояние было определено на период окончания срока службы путем уменьшения построечных размеров на величину коррозионной надбавки, регламентируемой Правилами РМРС. Во вторую очередь, для оценки проектных запасов прочности рассчитывался вариант с толщинами связей, уменьшенных на величины коррозионных надбавок, при тех же параметрах нагрузок (без ограничений). В последнюю очередь рассчитывался вариант с толщинами связей также уменьшенными на величину коррозионного

износа, но с уменьшением нагрузок за счёт введения эксплуатационных ограничений. На рис. 6 приведены результаты расчетов поперечных рам понтонов.

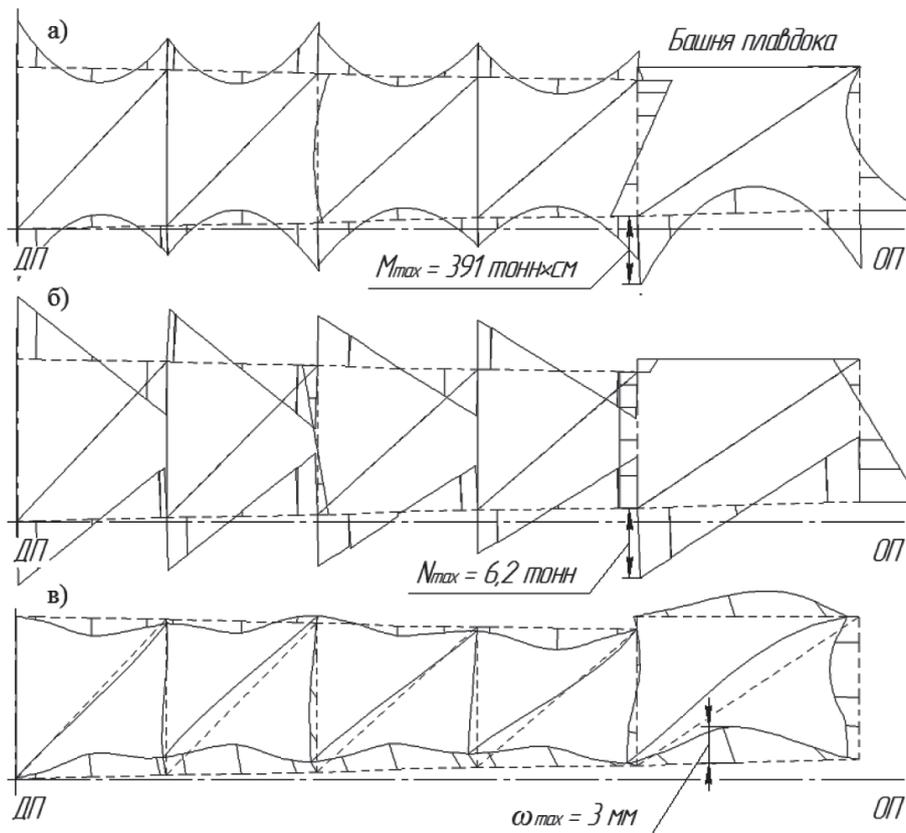


Рис. 6. Эпюры изгибающих моментов (а), перерезывающих сил (б) и перемещений (в)

Поперечная прочность понтонов. Специфика конструкции доков данного проекта состоит в том, что формально в качестве главных поперечных связей выступают только концевые переборки понтона. Элементы ферменных флоров (поперечные балки) могут быть включены в расчетное сечение, если они расположены в пределах ширины присоединённых поясков переборок. Роль стоек и раскосов при этом не будет учтена. Выполнение таких расчетов показало, что прочность понтонов и их устойчивость в процессе эксплуатации не обеспечивается. Потому для учета роли ферменных флоров использован приём их замены эквивалентными по длине, жесткости и прочности балками. Результирующее расчетное сечение понтона представлено на рис. 7.

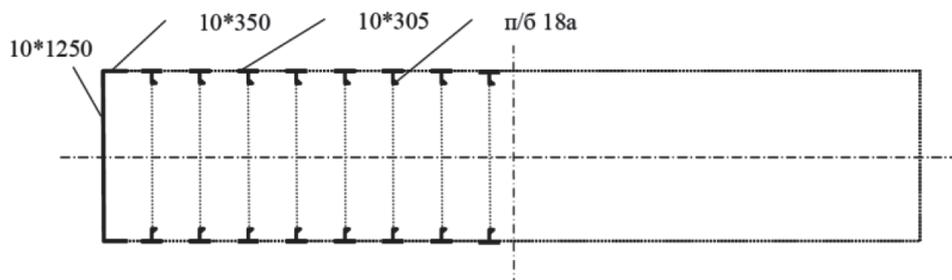


Рис. 7. Схема поперечных связей понтона и их размеры

Результаты расчетов, выполненных на период окончания срока службы при толщинах, уменьшенных на величины коррозионных надбавок по Правилам РМРС, показали наличие связей, теряющих устойчивость. В результате редуцирования и последовательных приближений полу-

чено, что при проектной грузоподъемности, равной 1500 т, прочность понтонов не удовлетворяет требованиям Правил РМРС на период окончания срока эксплуатации. При ограничении грузоподъемности до 1000 т характеристики поперечных связей понтонов удовлетворяют Правилам РМРС. При этом сохраняются резервы прочности.

Продольная прочность башен. Для понтонного дока на прочность и устойчивость при общем продольном изгибе влияют толщины листов настила топ-палубы, верхних промежуточных палуб, верхних и нижних поясьев стенок башен, обшивки днища башен, т. е. конструкций, наиболее удаленных от нейтральной оси поперечного сечения эквивалентного бруса [9].

Расчеты общей продольной прочности дока показали, что стенки башен и палуба безопасности из-за поперечной системы набора могут терять устойчивость даже в начале срока эксплуатации (без износов) при определенных условиях докований. При этом прочность обеспечивается. При уменьшении построечных толщин связей на величину запасов на износ и сохранении наибольших расчетных изгибающих моментов проблема устойчивости связей растёт, и общая продольная прочность дока не обеспечивается. Расчеты при ограничении грузоподъемности дока в 1000 т и соответствующем снижении расчетных изгибающих моментов показали, что момент сопротивления сечений башен дока на период окончания срока службы (без запасов на износ), несмотря на потерю устойчивости сжатых связей, обеспечивает общую продольную прочность дока.

Допустимые износы и деформации. Допуски на деформации и остаточные размеры элементов конструкций для возобновления класса РМРС определены в соответствии с «Правилами классификационных освидетельствований судов в эксплуатации» [10] РМРС и с учетом «Инструкции по определению технического состояния и ремонту корпусов стальных плавучих доков» [7]. По результатам расчетов получены допустимые проценты общего и местного износа связей конструкций для оценки технического состояния на класс РМРС с ограничениями, рассмотренными в работе [5].

При последующих освидетельствованиях особое внимание должно уделяться деформациям. Конструкции доков и обычных судов существенно отличаются по условиям нагружения — глобальному (всестороннему) сжатию отсеков без благоприятного фактора распора или самораспора связей. По этой причине нормы деформаций доков существенно жестче (до 10 и более раз) и требуют фиксирования на начальной стадии их появления. Таким образом, при разработке нормативов допускаемых остаточных размеров связей корпуса плавдока необходимо отдельно нормировать допускаемые остаточные деформации для предотвращения аварий.

Методы ремонта. С учетом специфики доков рациональные методы их ремонта могут быть существенно расширены, в том числе с использованием накладных полос, а также накладных и дублирующих листов. Большие нормативные сроки службы доков (в 2 раза больше, чем у судов), более редкие освидетельствования и частое накопление значительных объемов ремонтов, которые вынужденно выполняются на плаву, создают веские предпосылки для выбора более «мягких» методов ремонта, чем вырезка и варка конструкций. Методы ремонта путем замены на плаву могут привести к возникновению в конструкциях опасных и технически не контролируемых остаточных сварочных (ремонтных) напряжений, которые для обычных судов снижаются путем релаксации в условиях движения на волнении.

Заключение

Рассмотренные особенности плавучего дока, а также использование небольших построечных толщин связей и их износ обуславливают актуальность учета проблемы устойчивости связей. Расчёты показали, что требования Правил РМРС к устойчивости стенок башен и концевых переборок понтонов не выполняются и при проверках общей продольной и поперечной прочности плавучего дока в эксплуатации следует применять процедуру редуцирования сжатых изношенных связей.

По результатам расчетов сформулированы эксплуатационные ограничения для конкретного плавдока, а именно: грузоподъемность, длина докуемого судна и максимальная глубина

погружения плавдока. Возможность докования судов, выходящих за указанные ограничения, но с меньшим доковым весом требует в каждом конкретном случае дополнительных расчетных обоснований.

Также авторами в процессе разработки специальных норм [5] были выработаны следующие рекомендации по дальнейшей эксплуатации плавдока проекта 985 (ПД-01, пос. Ливадия).

1. Для повышения долговечности при всплытии дока с грузом рекомендуется не производить откачку балласта из центральных отсеков при глубинах погружения плавдока на миделе, превышающих 6,5 м.

2. Снижать изгибающие моменты за счет перераспределения 500 т дополнительного балласта, образуемого за счет ограничения грузоподъемности с 1500 т до 1000 т.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Отчет № 15.70042.171 о замерах остаточных толщин корпусных конструкций, ДОК-01, РС803699. — Находка: Приморское отделение Российского морского регистра судоходства, 2015. — 1032 с.
2. Кулеш В. А. Экспертиза прочности плавучего дока ПД-83М / В. А. Кулеш, С. В. Каленчук, О. Э. Суворов [и др.] // Вологдинские чтения. — 2008. — № 71. — С. 139–146.
3. Расчет нормативов допускаемых износов. Док №4 (пр. 985) РС854775. 985-101-КДВ.002. — Владивосток: ООО «Консультант ДВ», 2013. — 16 с.
4. Расчет набора корпуса по Правилам РС. Док № 4 (пр. 985) РС854775. 985-101-КДВ.001. — Владивосток: ООО «Консультант ДВ», 2013. — 60 с.
5. Расчетное обоснование допускаемых остаточных размеров связей корпуса плавучего дока «Док-01» с учетом ограничений. № 15-03н/Д01. Согласовано с Главным управлением РМРС. — Владивосток: ООО «Научно-техническая экспертиза и консалтинг», 2015. — 190 с.
6. Правила классификации и постройки морских судов: в 3 т. — Т. 1. — СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2015. — 580 с.
7. Инструкции по определению технического состояния и ремонту корпусов стальных плавучих доков, НД № 2-139902-018: сб. нормативно-методических материалов. — Кн. 13. — РМРС. — СПб., 2004. — С. 41–123.
8. Кульцеп А. В. Автоматизированные системы расчетов прочности, устойчивости и колебаний в СМК / А. В. Кульцеп, В. А. Манухин, А. И. Фрумен. — СПб: Изд. центр СПбГМТУ, 2000. — 123 с.
9. Ле Минь Тху. Постановка задачи проектирования конструкций корпуса плавучего дока по требованиям к общей прочности / Ле Минь Тху, В. Н. Трякин, В. Н. Лубенко // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2012. — № 1. — С. 18–24.
10. Руководство по техническому наблюдению за судами в эксплуатации. — СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2013. — 226 с.

DEVELOPMENT OF DETERIORATION STANDARDS FOR FLOATING DOCK WITH OPERATIONAL RESTRICTIONS

This paper presents a solution to the problem to reduce costs at providing the operational reliability of the floating dock project 985. The solution of this problem is achieved by the introduction of operating limitations to the floating dock such as maximum loading capacity, the length of the repaired vessel and the diving depth. Analysis of operation data of floating dock over the last three years showed that the weight of the repaired ships basically does not ventured beyond the limits (only four of the twenty-one vessel had a displacement more than 1000 tons). Thus, the proposed solution does not require significant changes in the production program of the shipyard.

For the floating dock of the project 985 typical damages and design features were identified. Paper presents advantages of special norms developed by the authors based on operating experience, recommendations on further exploitation were also gave. The drawbacks and dangers of norms developed without rationing admissible deformations and direct strength calculations, taking into account the structural features the floating dock were also shown in this paper.

Keywords: floating dock, operating limitations, technical diagnostics, deterioration standards, repair, damaged structure, finite element method.

REFERENCES

1. Otchet № 15.70042.171 o zamerakh ostatochnykh tolshchin korpusnykh konstruksiy, DOK-01, RS803699. Nakhodka: Prmorskoye otdeleniye Rossiyskogo morskogo registra sudokhodstva, 2015.
2. Kulesh, V. A., S. V. Kalenchuk, O. E. Surov, A. I. Mamontov, A. V. Zhitnikov, and A. V. Podgornov. "Ekspertiza prochnosti plavuchego doka PD-83M." *Vologdinskiye chteniya* 71 (2008): 139–146.
3. Raschet nabora korpusa po Pravilam RS. Dok №4 (pr. 985) RS854775. 985-101-KDV.001. Vladivostok: OOO «Konsultant DV», 2013.
4. Raschet normativov dopuskayemykh iznosov. Dok №4 (pr. 985) RS854775. 985-101-KDV.002. Vladivostok: OOO «Konsultant DV», 2013.
5. Raschetnoye obosnovaniye dopuskayemykh ostatochnykh razmerov svyazey korpusa plavuchego doka «Dok-01» s uchetoм ogranicheniy. № 15-03n/D01. Soglasovano Glavnym upravleniyem RMRS. Vladivostok: OOO «Nauchno-tehnicheskaya ekspertiza i konsalting», 2015.
6. Pravila klassifikatsii i postroyki morskikh sudov v 3-h tomah. T. 1. SPb.: Rossiyskiy morskoy registr sudokhodstva, 2015.
7. Instruksii po opredeleniyu tekhnicheskogo sostoyaniya i remontu korpusov stalnykh plavuchikh dokov, ND № 2-139902-018: sbornik normativno-metodicheskikh materialov. Kn.13, RMRS. SPb., 2004.
8. Kultsep, A. V., V. A. Manukhin, and A. I. Frumen. *Avtomatizirovannyye sistemy raschetov prochnosti, ustoychivosti i kolebaniy v SMK*. SPb.: Izd. tsentr SPbGMTU, 2000.
9. Le Minh Thu, V. N. Tryaskin, and V. N. Lubenko. "Problem definition of hull structures design of a floating dock under the requirements to the general strength." *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies* 1 (2012): 18–24.
10. Rukovodstvo po tekhnicheskomu nablyudeniyu za sudami v ekspluatatsii. SPb.: Rossiyskiy morskoy registr sudokhodstva, 2013.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кулеш Виктор Анатольевич —
доктор технических наук, профессор
Дальневосточный Федеральный Университет
Vkulesh@mail.ru
Немкин Дмитрий Викторович — аспирант
Научный руководитель:
Антоненко Сергей Владимирович —
доктор технических наук, профессор
Дальневосточный Федеральный Университет
Fefu-pg.nemkin@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kulesh Viktor Anatolyevich —
Dr. of Technical Sciences, professor.
Far Eastern Federal University
Vkulesh@mail.ru
Nemkin Dmitry Viktorovich — postgraduate.
Supervisor:
Antonenko Sergey Vladimirovich —
Dr. of Technical Sciences, professor
Far Eastern Federal University
Fefu-pg.nemkin@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 24 апреля 2016 г.

УДК 681.322

В. Д. Чертовской

О ПЕРСПЕКТИВНЫХ МЕТОДАХ ПЛАНИРОВАНИЯ ВЫПУСКА ПРОДУКЦИИ ПРИ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИИ

Показана необходимость формирования описания процесса планирования производства при импортозамещении. Для него характерно изменение состава структурных элементов и структурных связей системы планирования. Рассмотрено математическое представление модели функционирования производства, охватывающего бизнес-процесс «Производство», с помощью однородного метода, который базируется на задаче линейного программирования и разностных уравнениях. Метод предложен автором для описания